

Seminário sobre

**Valorização de Resíduos em Infra-estruturas de Transportes e Obras
Geotécnicas**

**Aplicação a Agregados Siderúrgicos Inertes para Construção (ASIC)
LISBOA**

Casos de Obra Trecho Experimental na EN 111 Fafe – Várzea Córdova

**Gomes Correia A.^(1*), Martins, J.P.⁽¹⁾
Roque⁽²⁾, A.; Caldeira⁽²⁾, L.; Fortunato, E. ⁽²⁾**

(1) Universidade do Minho (UM)

(2) Laboratório Nacional Engenharia Civil (LNEC)

(*) agc@civil.uminho.pt



APRESENTAÇÃO

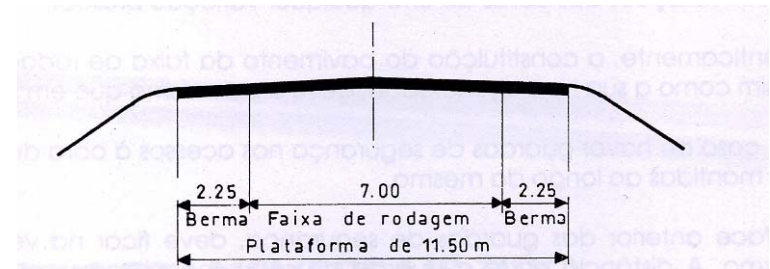
- ✓ Sítio Experimental
- ✓ Materiais de construção
- ✓ Camadas Experimentais
- ✓ Resultados do comportamento mecânico
- ✓ Avaliação do comportamento ambiental
- ✓ Considerações finais



SÍTIO EXPERIMENTAL

Realização de 10/10/07 a 09/11/07

- Trecho experimental localizado na EN 311 Fafe-Várzea Cova
- Volume a escavar = 1350 m^3
- Volume de materiais de aterro
 - Saibro = 945 m^3
 - ASIC = 405 m^3

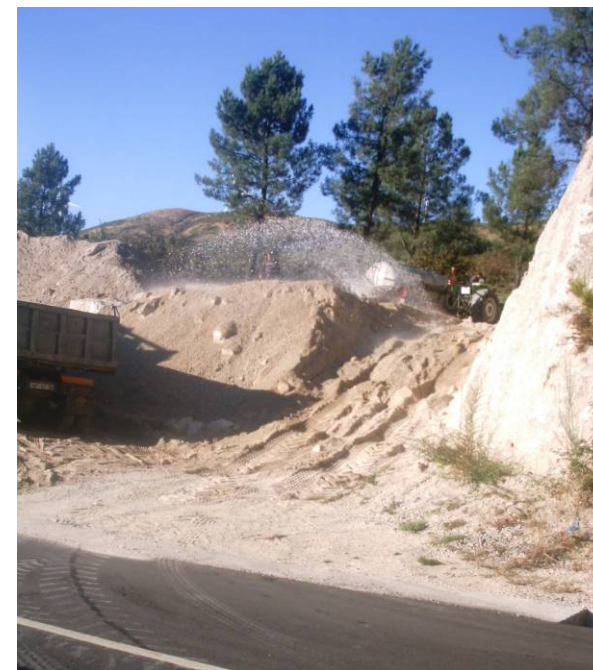




MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO



ASIC – Recolha de amostra na SN - Maia

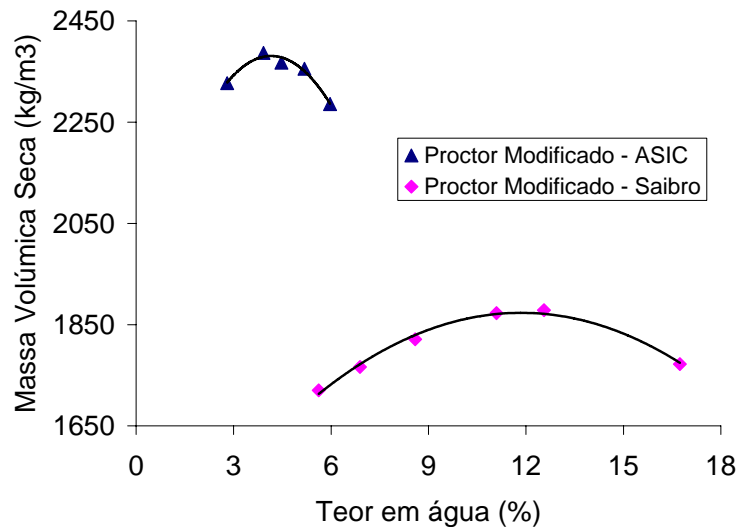


Pilha de saibro para utilização no aterro

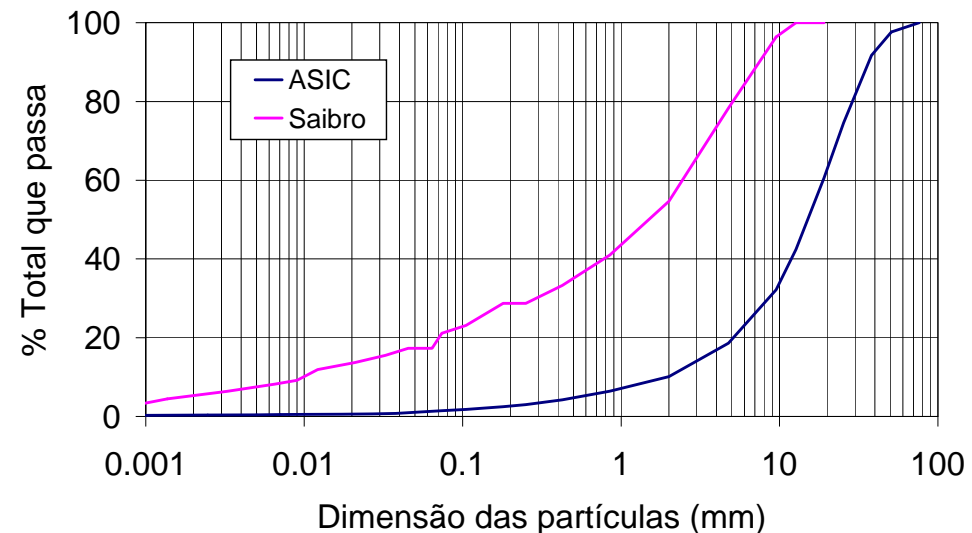


CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DE ATERRO

- Curva de Compactação



- Curva Granulométrica



- Limites de Consistência (Saibro) : $w_L = 36\%$; $IP = NP$



CAMADAS EXPERIMENTAIS - METODOLOGIA

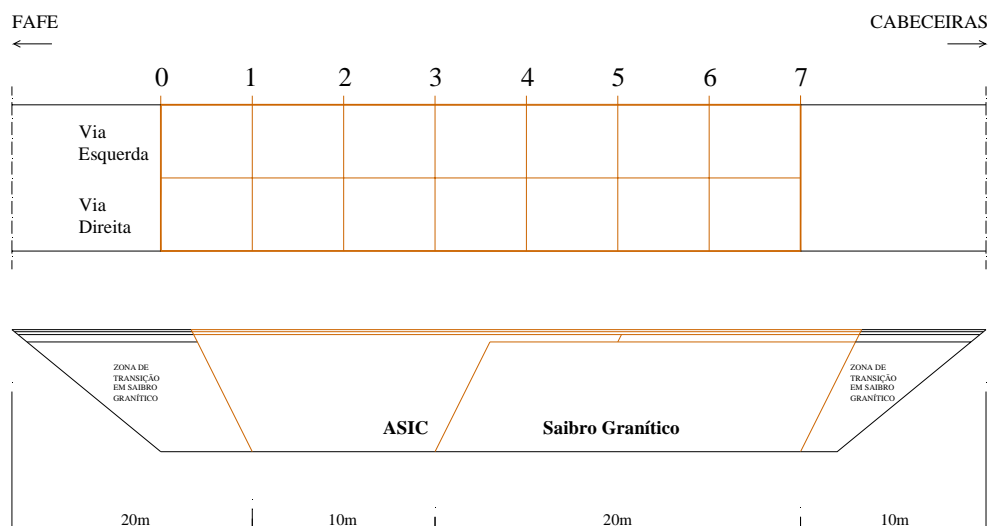
- Camadas de Saibro e ASIC
- Espessuras das camadas:
 - $e = 30\text{cm}$; $w = w_{\text{opt}}$
 - $e = 40\text{cm}$; $w = w_{\text{opt}}$
 - $e = 50\text{cm}$; $w = w_{\text{opt}}$
- Equipamento de compactação:
 - Cilindro vibrador HAMM 3214
 - V2 (Classe GTR)





CAMADAS EXPERIMENTAIS - METODOLOGIA

- Malha adoptada para a realização dos ensaios



- Ensaios realizados às 4, 6, 8, 10 e 12 passagens do cilindro vibrador



CAMADAS EXPERIMENTAIS - METODOLOGIA

- Ensaios de auscultação “pontual”:
 - Garrafa de areia com determinação de teor em água - estufa (UM)
 - Método radioactivo (UM)
 - Ensaio de membrana (LNEC)
 - **Ensaio de carga com placa (UM)**
 - **Ensaio de carga com pneu (UM)**
 - **Deflectómetro de impacto ligeiro - DIP (LNEC)**
 - “Geogauge” (LNEC)
 - **Deflectómetro de impacto - FWD (UM)**
- Ensaios de auscultação contínua:
 - **“Portancemètre” (GEOCONTROLE)**



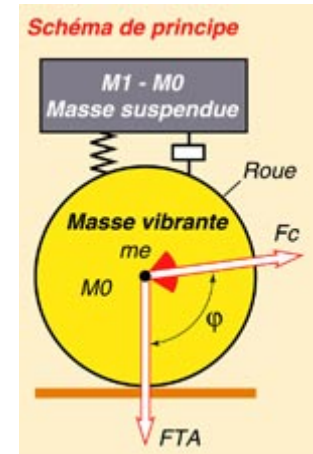
TEORIA DOS ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDADE

“Portancemètre” (LPC; Quibel, 1998)

Roda 1 m, 200 mm largura, equipada com um sistema de carregamento vibrador, instrumentada com acelerómetros.

Determinação em contínuo da rigidez a uma velocidade de (3 km/h).

Calibração do equipamento:

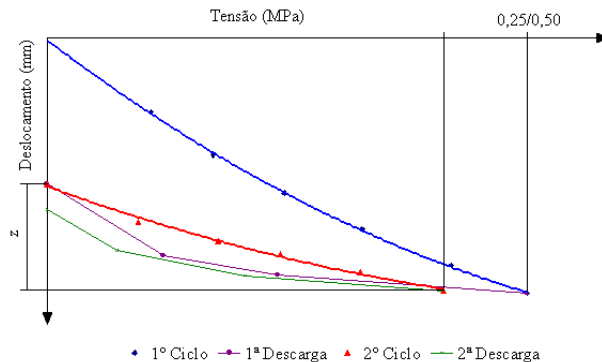




TEORIA DOS ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDADE

“Ensaio de carga com placa”

Carregamento por estágios



Interpretação:

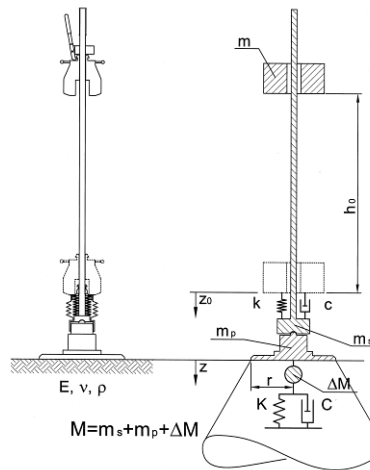
$$Ev_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (1 - \nu^2) \cdot \frac{p \cdot d}{a_1 \cdot \sigma_0 + a_2 \cdot \sigma_0^2} (MPa)$$





TEORIA DOS ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDADE

“Ensaio de carga dinâmica com placa” DIP



Interpretação:

$$E_{vd,K} = 1.5 r \frac{\Delta \sigma_K}{\Delta z} = 1.5 r \frac{\Delta (K(z) z / r^2 \pi)}{\Delta z}$$





TEORIA DOS ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDADE

Ensaio correntes:

Ensaio de carga com pneu



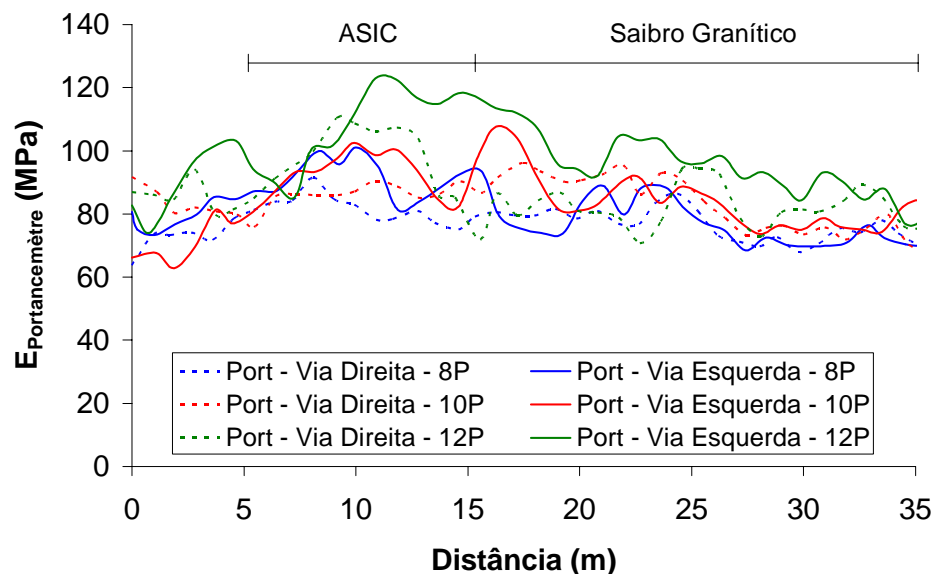
“Deflectómetro de impacto – FWD”



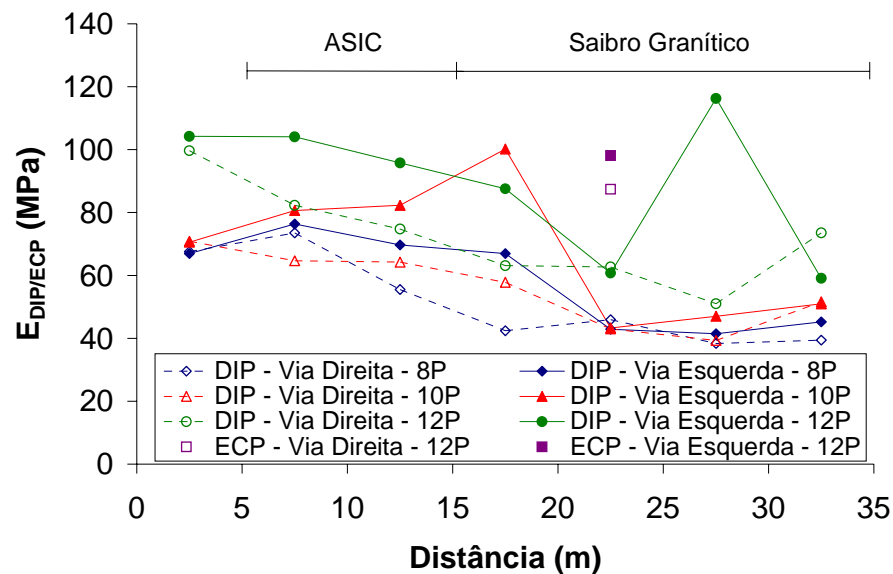


RESULTADOS DAS CAMADAS EXPERIMENTAIS

• “Portancemètre”



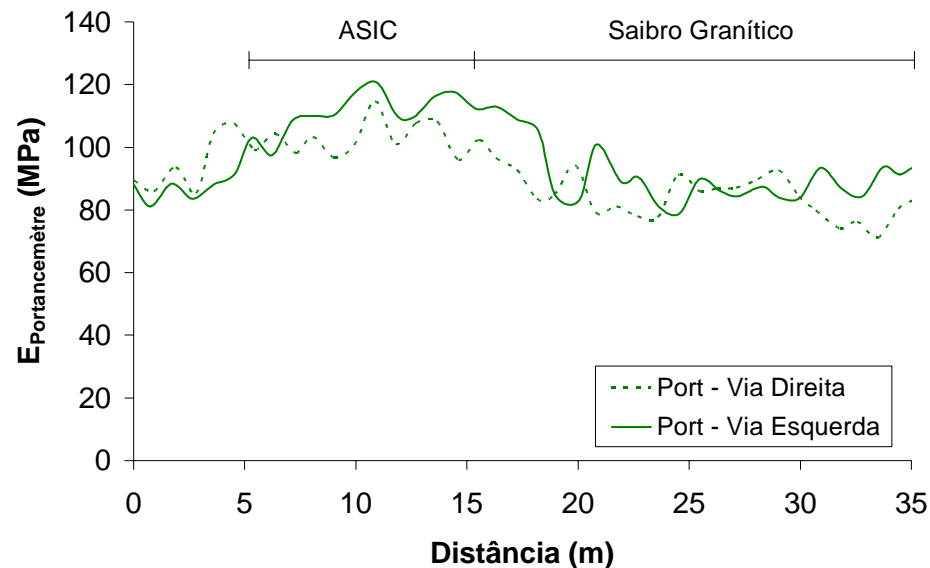
• “DIP” e ECP - placa de 60cm



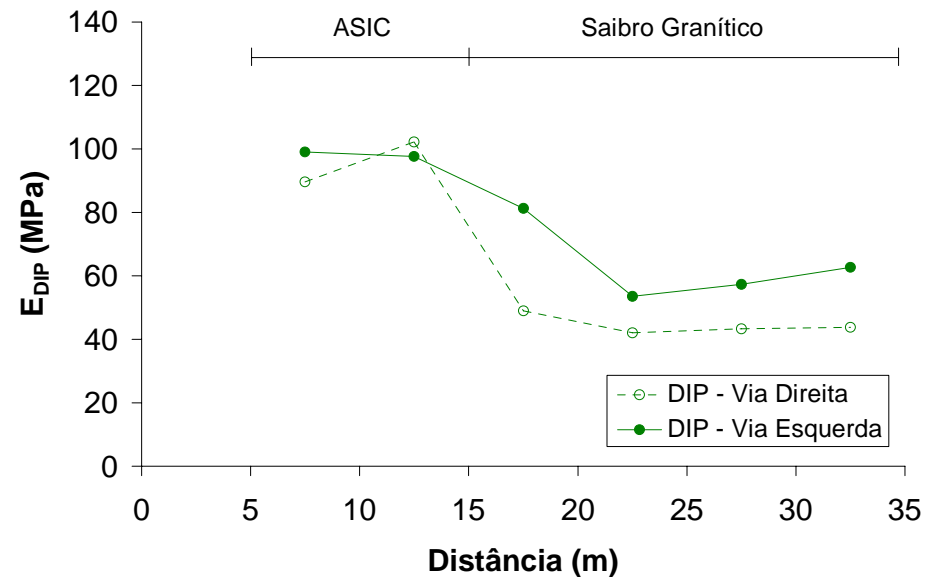


RESULTADOS A NÍVEL DO LEITO DE PAVIMENTO

- “Portancemètre”



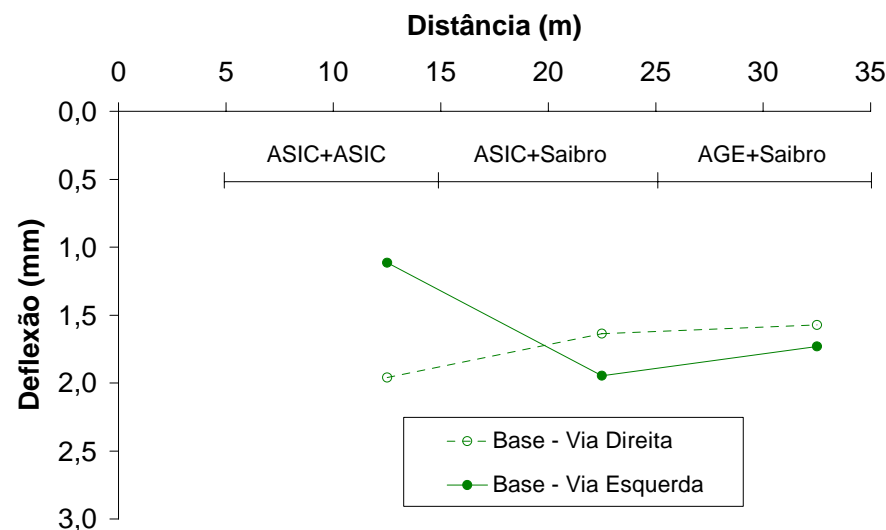
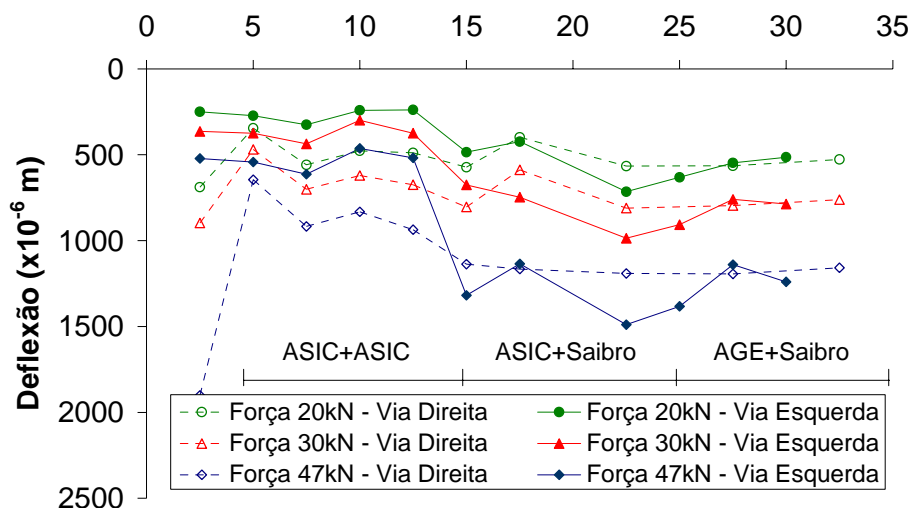
- “DIP”





RESULTADOS A NÍVEL DA CAMADA DE BASE

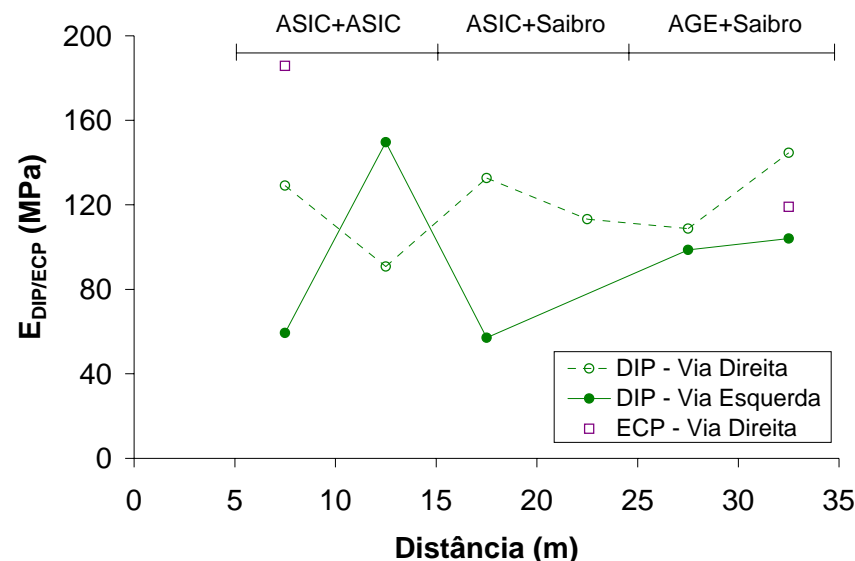
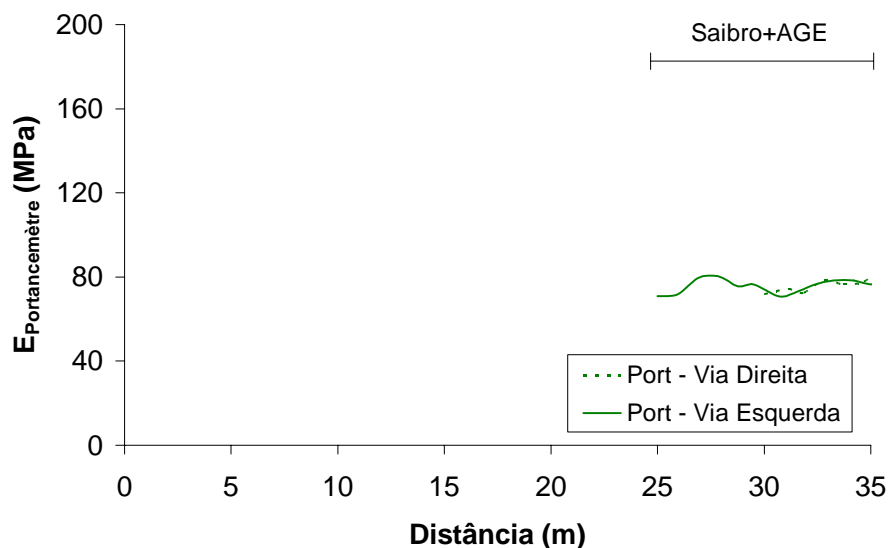
- Falling Weight Deflectometer (FWD) - placa de 45cm
- Ensaio de carga com pneu





RESULTADOS A NÍVEL DA CAMADA DE BASE

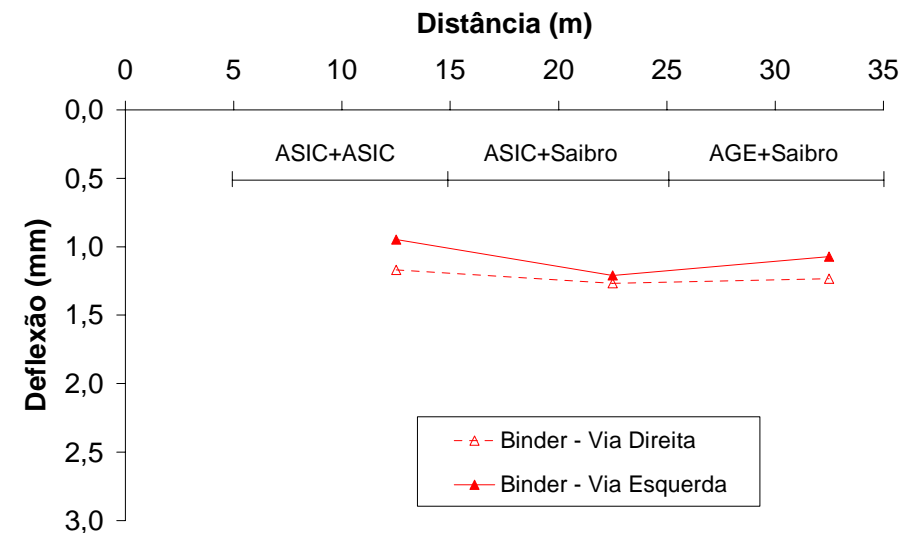
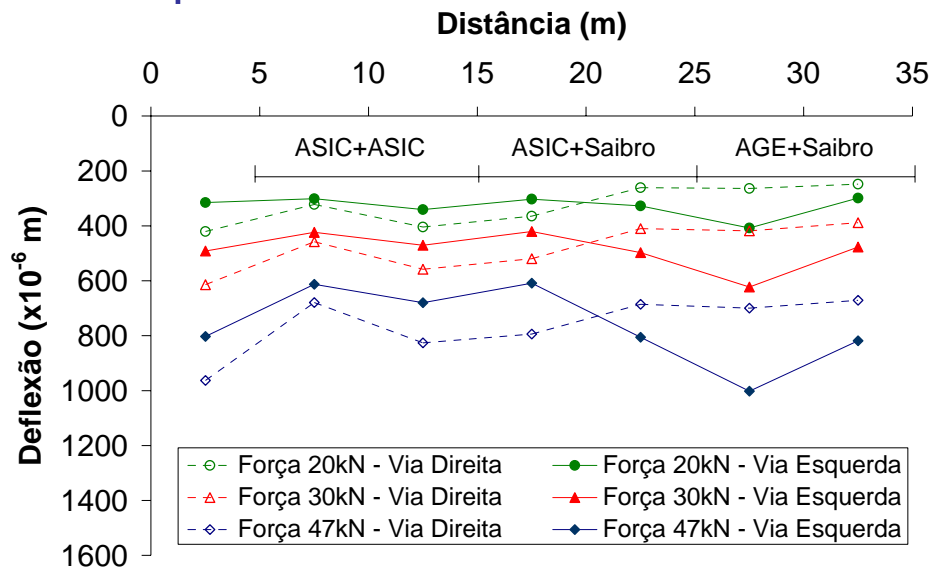
- “Portancemètre” para a secção Saibro+AGE
- “DIP”





RESULTADOS A NÍVEL DA CAMADA DE REGULARIZAÇÃO

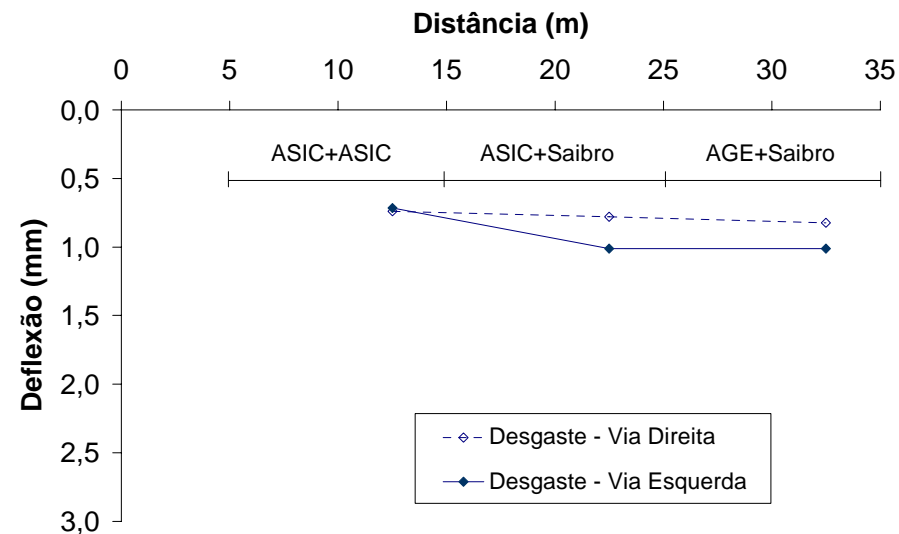
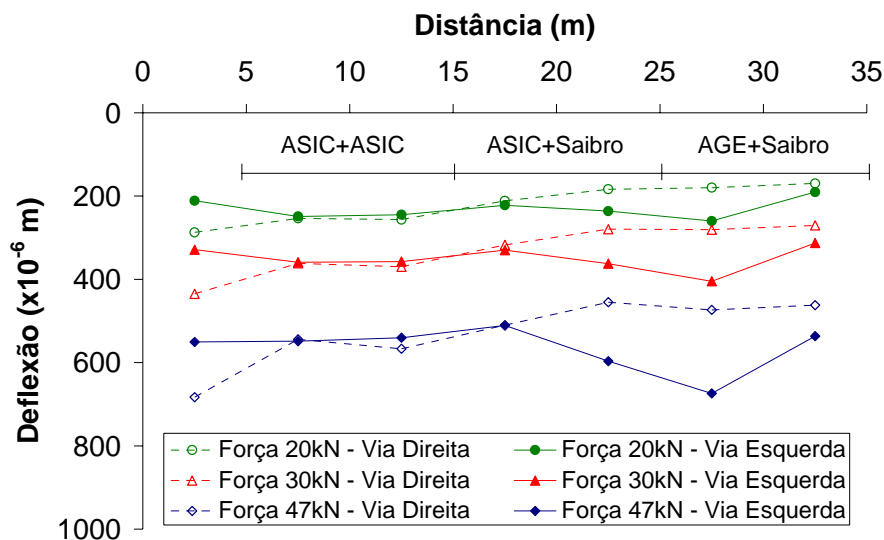
- Falling Weight Deflectometer (FWD) - placa de 45cm
- Ensaio de carga com pneu





RESULTADOS A NÍVEL DA CAMADA DE DESGASTE

- Falling Weight Deflectometer (FWD) – placa de 45cm
- Ensaio de carga com pneu





INSTRUMENTAÇÃO INTERNA NO ATERRO

Medição dos assentamentos

Colocação de referência
na fundação do aterro



Instalação do sistema de
medida dos assentamentos





INSTRUMENTAÇÃO INTERNA NO PAVIMENTO

Extensómetros verticais
na fundação - saibro



Extensómetros horizontais na base
da camada betuminosa - ASIC

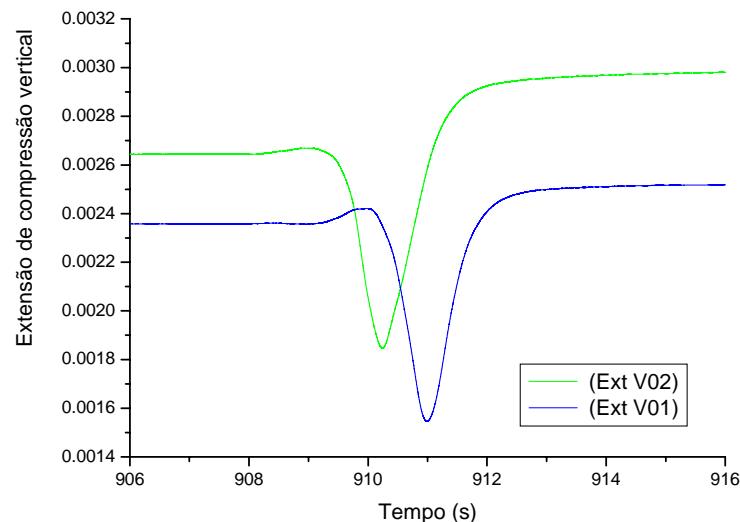




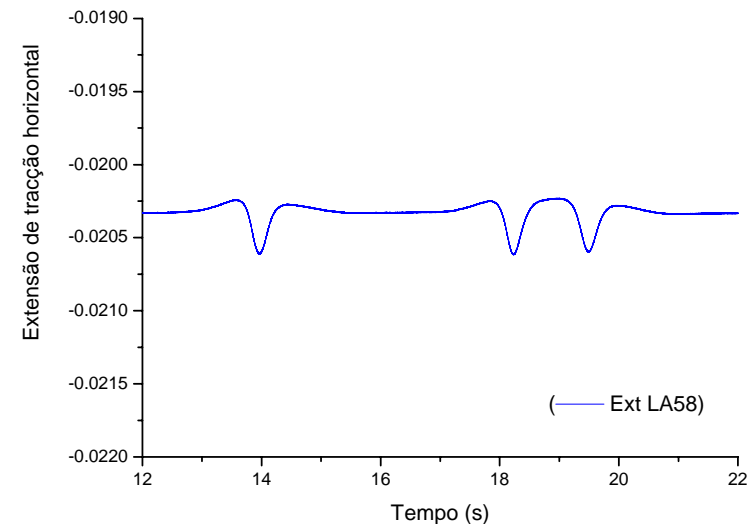
INSTRUMENTAÇÃO INTERNA NO PAVIMENTO

Medições para aplicação de cargas ao nível da camada de desgaste

- Extensómetros verticais na fundação – saibro
 - Resultado para um ensaio de pneu com um camião com carga de 23,9 toneladas nos eixos traseiros



- Extensómetros horizontais na base da camada betuminosa – ASIC
 - Resultado para a passagem de um camião de 3 eixos com carga total de 32,2 toneladas





AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TERMOS AMBIENTAIS INSTALAÇÃO DE LISÍMETROS



Início da construção do lisímetro no ASIC (2 m de comprimento x 1 m de largura)



Colocação da geomembrana sobre o geotêxtil de protecção



AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TERMOS AMBIENTAIS INSTALAÇÃO DE LISÍMETROS



Lavagem do seixo de preenchimento
do lisímetro



Lisímetro antes da colocação do seixo



AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TERMOS AMBIENTAIS INSTALAÇÃO DE LISÍMETROS



Colocação do geotêxtil de protecção
ao seixo de preenchimento do
lisímetro



Lisímetro



AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TERMOS AMBIENTAIS INSTALAÇÃO DE LISÍMETROS



Colocação da camada de ASIC, a compactar sobre o lisímetro



Tubagem, protegida por geotêxtil, de ligação do lisímetro ao reservatório de recolha do lixiviado



AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TERMOS AMBIENTAIS INSTALAÇÃO DE LISÍMETROS



Localização dos lisímetros no trecho experimental



Localização dos lisímetros no ASIC (I) e no Saibro (II)



AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TERMOS AMBIENTAIS INSTALAÇÃO DE LISÍMETROS



Rega do ASIC com água na plataforma de infiltração situada a 1,4 m do topo do lisímetro



Recolha do lixiviado



AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM TERMOS AMBIENTAIS

1^{as} Recolhas

Recolha de amostra de água de alimentação do lisímetro para constituir a amostra de referência nas análises químicas

Recolha de amostras representativas (cerca de 3 litros) dos seguintes volumes de lixiviado: 113,5 l; 135; 160 l; 160 l; e 240 l, num total de 808,5 litros (alimentação com água de joper)

Continuação de recolha periódica de amostras de lixiviado até ao termo do projecto (alimentação com água de joper e ou água das chuvas)



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ❖ Superioridade do ensaio de auscultação contínua
- ❖ Importância da validação experimental em obra
- ❖ Importância da avaliação do comportamento com recurso a ensaios de base mecanicista
- ❖ Importância da avaliação do comportamento em termos ambientais (laboratório e obra)
- ❖ Os resultados em obra disponíveis mostram um melhor desempenho mecânico do ASIC em relação aos materiais naturais